

Ідентифікація співвідношення руда/вода на вході кульового млина

В статті приведені результати досліджень алгоритмічного методу підвищення точності ідентифікації технологічних параметрів при управлінні кульовими млинами. Показано, що можлива ідентифікація співвідношення руда/вода на вході кульового млина по технологічним параметрам його комунікацій в умовах вимірювання витрати пульпи в піщовому жолобі з пониженою точністю.

ідентифікація співвідношення, технологічні параметри комунікацій кульового млина

На залізорудних збагачувальних фабриках подрібнення вихідної руди є одним з найважливіших процесів, оскільки на нього витрачається майже 50 % енергетичних затрат. Найбільш розповсюджені на сучасних залізорудних комбінатах технологічні схеми, що містять кульовий млин і спіральний механічний класифікатор, які працюють в замкнутому циклі. Автоматизація технологічних процесів у кульових млинах забезпечує значне підвищення ефективності подрібнення руди. Ці задачі впродовж багатьох років розв'язував ряд авторів і наукових колективів. Результати таких досліджень викладені, наприклад, в роботі [1]. Розробку систем автоматичного управління процесами у кульових млинах продовжували наукові колективи і окремі вчені. Узагальнене викладення даної проблеми показує [2], що вона залишається до кінця не розв'язаною. Про це свідчать також останні публікації по даній проблемі.

Загальна стратегія вирішення нагальних проблем чорної металургії в Україні повинна спрямовуватися на збереження експортного потенціалу гірничо-металургійного комплексу з метою забезпечення валютних надходжень в Україну, підвищення конкурентоспроможності продукції шляхом зменшення її собівартості, проведення реконструкції підприємств, створення промислово-фінансових груп за технологічними ланцюжками та оновлення виробничих фондів [3]. Аналіз структури собівартості виробництва металопродукції свідчить, що собівартість формується, головним чином, на базі цін на сировинні матеріали, устаткування та енергетичні ресурси [3]. Отож, важливим є зменшення собівартості головного сировинного матеріалу – залізорудного концентрату. На залізорудних збагачувальних комбінатах, які виробляють залізорудні концентрати, не використані всі можливості для зменшення собівартості продукції. Це в значній мірі відноситься до процесів подрібнення руди в кульових млинах. Оскільки в них у великих масштабах продовжують перевитрачатись матеріальні та енергетичні ресурси, дана проблема потребує якомога швидшого розв'язання. Розв'язання проблеми спрямовано на реалізацію напрямку “Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі”, передбаченого Законом України від 11 липня 2001 року № 2623-III “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки”. Крім того, матеріали даної публікації стосуються виконання

науково-дослідної роботи “Комп’ютерно-інтегрована система автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням” (державний реєстраційний номер 0105V008334), спрямованої на розв’язання даної проблеми.

Задача автоматичної стабілізації розрідження пульпи в кульових млинах є складовою даної проблеми, оскільки від кількості води в твердому залежать умови подрібнення руди та транспортування готового продукту. При крупності руди більше 13 мм найбільша продуктивність кульових млинів забезпечується, якщо додавати 25...30 % води. Більш дрібний матеріал потребує 30...50 % води [4]. Тип руди, яку переробляють, визначає конкретний вміст води. При подрібненні руд в кульових млинах отримують певну кількість зерен однакового розміру. А.М. Бонч-Бруєвич, В.Л. Биков, П.І. Чинаєв вказують, що оптимальну продуктивність подрібнювального агрегату, при якій забезпечується максимальний вихід готового продукту, можливо отримати лише при певному завантаженні кульового млина та певному співвідношенні руда/вода [5]. Отже, автоматичне регулювання співвідношення руда/вода в кульовому млині є актуальною задачею.

Розв’язати дану задачу не дозволяє зміна циркулюючого навантаження в широких межах. Автоматичне регулювання розрідження пульпи безпосередньо в барабані кульового млина [6] відрізняється низькою точністю, оскільки не враховує циркулююче навантаження. Системи автоматичного регулювання з контролем густини пульпи в розвантаженні кульового млина [7] відрізняються великим транспортним запізнюванням, низькою точністю густиномірів та невідповідністю параметрів на вході та виході технологічного агрегату. Системи автоматичного регулювання заданого співвідношення руда/вода на вході кульового млина мають більші перспективи, оскільки не відрізняються запізнюванням та формують середовище безпосередньо перед початком технологічного процесу. Ці переваги привели до реалізації кількох підходів автоматичної стабілізації даного параметра [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Однак, як показує аналіз, жодна з запропонованих систем автоматичної стабілізації співвідношення твердого до рідкого на вході кульового млина по різних причинам реалізованою бути не може. Враховуючи сказане, таку систему необхідно розробити. Однією з її складових є засіб ідентифікації співвідношення руда/вода на вході кульового млина, однак він ніким не розроблявся і не досліджувався.

Метою даної роботи є дослідження можливості ідентифікації співвідношення руда/вода на вході кульового млина по технологічним параметрам його комунікацій в умовах вимірювання хоч би одного з них з похибкою, що перевищує задану похибку визначення результуючого параметра.

Похибка контролю технологічних параметрів при керуванні кульовими млинами не повинна перевищувати $\pm 3,0$ % [14]. Оскільки безпосередньо виміряти співвідношення руда/вода не можливо, його необхідно ідентифікувати за іншими технологічними параметрами. Тому помилка ідентифікації також не повинна перевищувати $\pm 3,0$ %.

Кульовий млин має достатньо складні комунікації, по яким на його вхід подаються матеріали (рис. 1). В кульовий млин (рис. 1) матеріал надходить

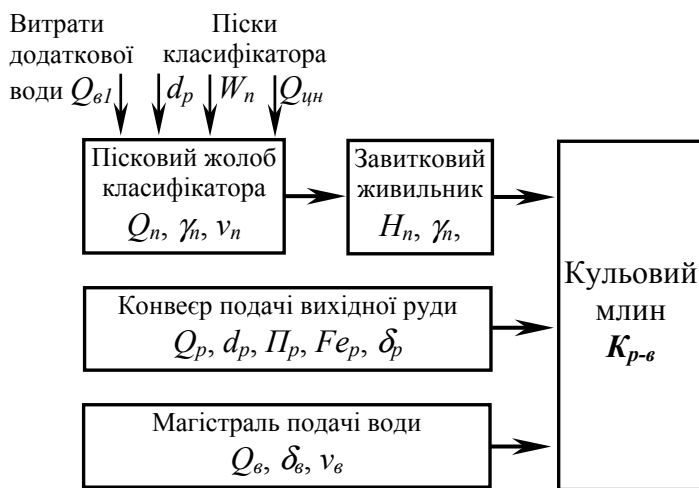


Рисунок 1 – Вхідні комунікації кульового млина та їх інформативність

навантаження Q_{cn} , середнім розміром частинок твердого в пісках d_n , вмістом вологи в пісках W_n , витратами додаткової води Q_{el} , витратами пульпи Q_n , густиною пульпи γ_n , швидкістю пульпи v_n , завитковий живильник – величиною рівня пульпи H_n в приймальному пристрої, її густиною γ_n . Всю чи частину даної інформації можливо використати для ідентифікації співвідношення руда/вода K_{p-e} на вході кульового млина. Особливістю тут є те, що вимірювання певних технологічних параметрів не можливо здійснити з точністю, якої вимагає технологічний процес. Це, наприклад, можна віднести до вимірювання циркулюючого навантаження Q_{cn} , витрат пульпи Q_n у пісковому жолобі класифікатора.

Точність вимірювання, наприклад, витрати матеріалу у потоці може бути підвищеною використанням багатоканального вимірювання та безприладною лінеаризацією статичних характеристик чутливих елементів. Однак похибка, яка визначається характером розподілу матеріалу в пісковому жолобі, залишається і вона значна по величині. Інші відомі методи не дозволяють в даних умовах підвищити точність вимірювання цих технологічних параметрів, оскільки не можливо контролювати збурюючі фактори. Тому задачу, треба розв'язувати на рівні ідентифікації узагальненого параметра – співвідношення руда/вода.

Для підвищення точності вимірювання окремих величин звичайно використовують структурні (адаптивні) методи, започатковані на використанні принципу інваріантності. В останні роки отримав розвиток алгоритмічний метод підвищення точності вимірювання, який також базується на інваріантному принципі, де вимірювана величина визначається в обчислювальному пристрої по зарані розробленому алгоритму. Аналіз показує, що дані методи не можливо застосувати для ідентифікації співвідношення руда/вода. В той же час необхідно відмітити, що при створенні систем автоматичного регулювання давно вже визнана доцільність неповного задоволення умов інваріантності. Це дозволяє застосовувати алгоритмічний метод підвищення точності визначення параметра безпосередньо в процесі ідентифікації, якщо задачу можна звести, наприклад, до алгоритму виду

трьома потоками – вихідна руда, вода, пульпа, які володіють значною інформативністю. Потік руди, яка транспортується конвеєром, утримує інформацію про масові витрати руди Q_p , її ситовий склад або середній розмір частинок d_p , подрібнюваність P_p , вміст заліза Fe_p , густину руди δ_p . Водяна магістраль характеризується витратами води Q_e , її густиною δ_e , середньою швидкістю руху v_e , пісковий жолоб класифікатора – величиною циркулюючого

$$y = \frac{a \cdot x_1}{b \cdot x_2 + c \cdot x_1}, \quad (1)$$

де a, b, c – сталі коефіцієнти;

x_1 – параметр, який вимірюється зі значною похибкою;

x_2 – параметр, що визначається з малою похибкою.

В процесі ідентифікації параметр x_1 в чисельнику і знаменнику буде мати однакову величину $x_1 + \Delta x_1$ або $x_1 - \Delta x_1$, якщо Δx_1 – абсолютна помилка вимірювання. Тоді рівняння (1) можна записати

$$y = \frac{a \cdot (x_1 + \Delta x_1)}{b \cdot x_2 + c \cdot (x_1 + \Delta x_1)}, \quad (2)$$

або

$$y = \frac{a \cdot (x_1 - \Delta x_1)}{b \cdot x_2 + c \cdot (x_1 - \Delta x_1)}, \quad (3)$$

З залежностей (2) і (3) витікає, що при $b x_2 = 0$ відбувається повна компенсація помилки, $y = a/c$ і не залежить від помилки Δx_1 . В інших випадках буде частинна компенсація впливу похибки вимірювання Δx_1 на результат визначення y .

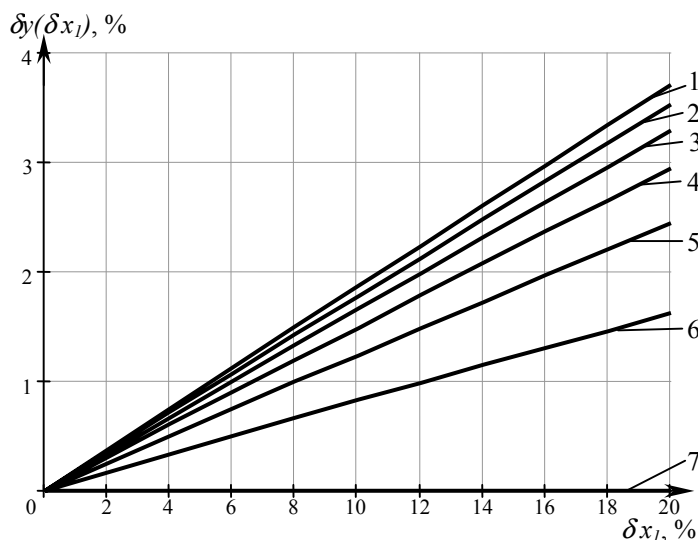


Рисунок 2 – Залежність похибки визначення параметра y (у відсотках) від похибки вимірювання параметра x_1 (у відсотках) при x_2 : 1 – 12; 2 – 10; 3 – 8; 4 – 6; 5 – 4; 6 – 2; 7 – 0

На рис. 2 приведена родина залежностей похибки визначення параметра y від похибки вимірювання параметра x_1 відповідно алгоритму (1) при $a = b = c = 1$, $x_1 = 4$, $x_2 = 0$; 2; 4; 6; 8; 10; 12. З рис. 2 видно, що при $b x_2 = 0$ (залежність 7) y не залежить від похибки вимірювання x_1 . При зростанні величини члена $b x_2$ виникає похибка визначення параметра y , однак вона складає менше 2 % (залежність 1) при похибці вимірювання параметра x_1 , що складає 10 %. Такі результати отримані при

$x_2 = 12$, $x_1 = 4$. В інших випадках результати будуть ще кращими. Отже, алгоритмічний метод може в певних умовах забезпечити необхідну точність ідентифікації співвідношення руда/вода при вимірюванні одного з технологічних параметрів зі значною похибкою.

Для комунікацій кульового млина може бути складений наступний алгоритм [15]

$$K_{p-e} = \frac{A \cdot (Q_n - Q_{e1}) + Q_p}{\delta_e Q_e + \delta_e Q_{e1} + K_n [A \cdot (Q_n - Q_{e1})]}, \quad (4)$$

$$\text{де} \quad A = \frac{\delta_p}{1 + K_n \frac{\delta_p}{\delta_\epsilon}} = \frac{\delta_p \delta_\epsilon}{\delta_\epsilon + K_n \delta_p}; \quad (5)$$

K_n – відносний вміст води в пісках класифікатора.

Алгоритм (4) показує, що в нього входить параметр Q_n – об'ємні витрати пульпи в пісковому жолобі класифікатора, який вимірюється зі значною похибкою. В ньому також існує механізм компенсації помилки вимірювання цього параметру. Для ідентифікації співвідношення руда/вода $K_{p-\epsilon}$ необхідно мати інформацію про об'ємні витрати пульпи Q_n в пісковому жолобі класифікатора, масові витрати руди Q_p в кульовий млин, витрати води Q_ϵ в кульовий млин, витрати води $Q_{\epsilon 1}$ в пісковий жолоб, вміст води в пісках класифікатора K_n і густину руди δ_p . На кінцевий результат ідентифікації будуть впливати похибки визначення кожного з цих параметрів. Вплив зміни технологічних параметрів на співвідношення руда/вода можливо оцінити по чутливості.

Абсолютна чутливість $K_{p-\epsilon}$ до кожного з технологічних параметрів являє собою частинну похідну (4) по кожній змінній. Тобто, отримаємо наступні оцінки

$$\begin{aligned} \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_p} = \text{const}, \quad \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_n} = \text{const}, \quad \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_\epsilon} = \text{const}, \quad \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_{\epsilon 1}} = \text{const}, \\ \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial \delta_p} = \text{const}, \quad \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial K_n} = \text{const}. \end{aligned} \quad (6)$$

З виразів (6) видно, що порівняти абсолютні чутливості в даному випадку між собою не можливо, оскільки вони мають різні розмірності. Зважаючи на це, необхідно розглядати відносні чутливості, позбавлені розмірів.

Відносні чутливості співвідношення руда/вода до технологічних параметрів приймуть наступний вигляд

$$\begin{aligned} S_{Q_p} = \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{K_{p-\epsilon}} \cdot \frac{Q_p}{\partial Q_p} = \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_p} \cdot \frac{Q_p}{K_{p-\epsilon}}, \quad S_{Q_n} = \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_n} \cdot \frac{Q_n}{K_{p-\epsilon}}, \quad S_{Q_\epsilon} = \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_\epsilon} \cdot \frac{Q_\epsilon}{K_{p-\epsilon}}, \\ S_{Q_{\epsilon 1}} = \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_{\epsilon 1}} \cdot \frac{Q_{\epsilon 1}}{K_{p-\epsilon}}, \quad S_{\delta_p} = \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial \delta_p} \cdot \frac{\delta_p}{K_{p-\epsilon}}, \quad S_{K_n} = \frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial K_n} \cdot \frac{K_n}{K_{p-\epsilon}}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $K_{p-\epsilon}$, Q_p , Q_n , Q_ϵ , $Q_{\epsilon 1}$, δ_p , K_n – номінальні значення відповідних параметрів. З виразів (7) видно, що для отримання відносних чутливостей $K_{p-\epsilon}$ до технологічних параметрів необхідно певні абсолютні чутливості помножити на відношення номінальних значень технологічних параметрів до номінального значення $K_{p-\epsilon}$. Для визначення відносних чутливостей необхідно знайти абсолютні чутливості $K_{p-\epsilon}$ до відповідних технологічних параметрів. Вони дорівнюють частинним похідним $K_{p-\epsilon}$ (4) по відповідному параметру. Частинні похідні або абсолютні чутливості $K_{p-\epsilon}$ до технологічних параметрів будуть характеризуватись наступними математичними виразами

$$\frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_p} = \frac{1}{B} (\delta_\epsilon + K_n \delta_p), \quad c/2 \quad (8)$$

$$\frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_n} = \frac{\delta_p \delta_\epsilon}{B} - \frac{K_n \delta_\epsilon \delta_p}{B^2} [\delta_\epsilon \delta_p (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + (\delta_\epsilon + K_n \delta_p) Q_p], \quad c/m^3 \quad (9)$$

$$\frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_{\epsilon}} = -\frac{\delta_{\epsilon}(\delta_{\epsilon} + K_n \delta_p)}{B^2} [\delta_{\epsilon} \delta_p (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + (\delta_{\epsilon} + K_n \delta_p) Q_p], \text{ c/м}^3 \quad (10)$$

$$\frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_{\epsilon 1}} = -\frac{\delta_{\epsilon} \delta_p}{B} - \frac{\delta_{\epsilon}^2}{B^2} [\delta_{\epsilon} \delta_p (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + (\delta_{\epsilon} + K_n \delta_p) Q_p], \text{ c/м}^3 \quad (11)$$

$$\frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial \delta_p} = \frac{1}{B} [\delta_{\epsilon} (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + K_n Q_p] - \frac{K_n \delta_{\epsilon} \delta_p (Q_n + Q_{\epsilon})}{B^2} [\delta_{\epsilon} (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + K_n Q_p], \text{ м}^3/\Gamma \quad (12)$$

$$\frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial K_n} = \frac{\delta_p Q_p}{B} - \frac{\delta_{\epsilon} \delta_p (Q_n + Q_{\epsilon})}{B^2} [\delta_{\epsilon} \delta_p (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + (\delta_{\epsilon} + K_n \delta_p) Q_p], \quad (13)$$

$$\text{де } B = \delta_{\epsilon}^2 Q_{\epsilon} + K_n \delta_p \delta_{\epsilon} Q_{\epsilon} + \delta_{\epsilon}^2 Q_{\epsilon 1} + K_n \delta_p \delta_{\epsilon} Q_{\epsilon 1} - K_n \delta_p \delta_{\epsilon} Q_{\epsilon 1} + K_n \delta_p \delta_{\epsilon} Q_n.$$

Аналіз показує, що у математичних виразах (8) – (13) лише абсолютна чутливість співвідношення руда/вода до вмісту вологи в пісках класифікатора не має розміру. Всі останні абсолютні чутливості мають розмір – c/z , $\text{c}/\text{м}^3$, $\text{м}^3/\text{z}$.

Крім оцінок $\frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_n}$, $\frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_{\epsilon}}$, $\frac{\partial K_{p-\epsilon}}{\partial Q_{\epsilon 1}}$, які мають однаковий розмір, абсолютні чутливості не можливо порівнювати між собою.

Відносні чутливості співвідношення руда/вода до технологічних параметрів можливо записати на підставі виразів (7) та (8) – (13). вони будуть мати наступні значення

$$S_{Q_p} = \frac{1}{B} (\delta_{\epsilon} + K_n \delta_p) \cdot \frac{Q_p}{K_{p-\epsilon}} \quad (14)$$

$$S_{Q_n} = \frac{\delta_p \delta_{\epsilon} \cdot Q_n}{B \cdot K_{p-\epsilon}} - \frac{K_n \delta_{\epsilon} \delta_p \cdot Q_n}{B^2 \cdot K_{p-\epsilon}} [\delta_{\epsilon} \delta_p (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + (\delta_{\epsilon} + K_n \delta_p) Q_p], \quad (15)$$

$$S_{Q_{\epsilon}} = -\frac{\delta_{\epsilon} (\delta_{\epsilon} + K_n \delta_p) Q_{\epsilon}}{B^2 \cdot K_{p-\epsilon}} [\delta_{\epsilon} \delta_p (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + (\delta_{\epsilon} + K_n \delta_p) Q_p], \quad (16)$$

$$S_{Q_{\epsilon 1}} = -\frac{\delta_{\epsilon} \delta_p \cdot Q_{\epsilon 1}}{B \cdot K_{p-\epsilon}} - \frac{\delta_{\epsilon}^2 \cdot Q_{\epsilon 1}}{B^2 \cdot K_{p-\epsilon}} [\delta_{\epsilon} \delta_p (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + (\delta_{\epsilon} + K_n \delta_p) Q_p], \quad (17)$$

$$S_{\delta_p} = \frac{\delta_p}{B \cdot K_{p-\epsilon}} [\delta_{\epsilon} (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + K_n Q_p] - \frac{K_n \delta_{\epsilon} \delta_p^2 (Q_n + Q_{\epsilon})}{B^2 \cdot K_{p-\epsilon}} [\delta_{\epsilon} (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + K_n Q_p], \quad (18)$$

$$S_{K_n} = \frac{\delta_p Q_p K_n}{B \cdot K_{p-\epsilon}} - \frac{K_n \delta_{\epsilon} \delta_p (Q_n + Q_{\epsilon})}{B^2 \cdot K_{p-\epsilon}} [\delta_{\epsilon} \delta_p (Q_n - Q_{\epsilon 1}) + (\delta_{\epsilon} + K_n \delta_p) Q_p]. \quad (19)$$

Вирази (14) – (19), які характеризують відносну чутливість співвідношення руда/вода до технологічних параметрів, не мають розмірів, тому їх можна порівнювати між собою. Однак вони складні і безпосередньо в алгебраїчній формі це зробити практично не можливо. Порівняємо їх чисельні значення, які, крім того, будуть точно характеризувати ступінь впливу кожного з технологічних параметрів на величину співвідношення руда/вода в кульовому млині.

Визначимо відносні чутливості співвідношення руда/вода до технологічних параметрів для найбільш імовірного режиму роботи подрібнювального агрегата. Він характеризується наступними значеннями параметрів: $\delta_{\epsilon} = 1,0 \text{ т/м}^3$; $\delta_p = 3,3 \text{ т/м}^3$; $K_n = 0,12$; $Q_p = 220 \text{ т/год}$; $Q_{\text{ци}} = 200 \% Q_p$; $K_{(p-\epsilon)3} = 4,3$; $Q_{\epsilon 1} = 14 \text{ т/год}$. Для виконання розрахунків не вистачає параметрів Q_{ϵ}

і Q_n . Пульпу у пісковому жолобі створюють піски, які містять 12 % вологи, та додаткова вода Q_{el} , що в нього додається. З врахуванням цього за формулою

$$Q_n = \left(\frac{2}{\delta_p} + \frac{K_n}{\delta_e} \right) \cdot Q_p + Q_{el} \quad (20)$$

знаходимо об'ємні витрати пульпи у пісковому жолобі класифікатора, які при заданих параметрах дорівнюють $Q_n = 200,13 \text{ м}^3/\text{год}$. Кількість води, що додається у кульовий млин, визначається з умов витримування співвідношення руда/вода $K_{p-e} = 4,3$ в даних умовах і дорівнює $Q_e = 86,69 \text{ м}^3/\text{год}$.

Використовуючи наведені дані технологічного процесу та отримані залежності (8) – (13) і (14) – (19), виконаємо розрахунки за допомогою персонального комп'ютера і занесемо дані до табл. 1. З даних табл. 1 видно, що найбільша чутливість K_{p-e} до витрат води в кульовий млин, дещо менша – до густини руди та вмісту вологи в пісках класифікатора. Значно менша чутливість K_{p-e} до витрат руди в кульовий млин і витрат пульпи у пісковому жолобі. Майже в три рази від згаданих менша чутливість до витрат води в пісковий жолоб. Рівень чутливості співвідношення руда/вода до певного технологічного параметра передбачає конкретизацію вимог до точності вимірювання тієї чи іншої величини.

Таким чином, відносна чутливість співвідношення руда/вода до технологічних параметрів має різні значення, що відрізняються як за знаком, так і за величиною. Абсолютна величина відносних чутливостей значно менша одиниці, що сприяє ідентифікації K_{p-e} , підвищуючи її точність. Найбільша чутливість K_{p-e} до витрат води в кульовий млин, найменша – до витрат руди в кульовий млин і витрат пульпи в пісковому жолобі класифікатора, що говорить про ефективну компенсацію похибок вимірювання даних параметрів і можливість розв'язання задачі в умовах контролю Q_n з порівняно невеликою точністю, відповідно алгоритму (4).

Таблиця 1 – Дані визначення чутливості співвідношення руда/вода в кульовому млині до технологічних параметрів

Технологічний параметр	Абсолютна чутливість	Показник відносної чутливості	Відносна чутливість
Витрати руди Q_p , т/год	0,006515, год/т	$\frac{Q_p}{K_{p-e}} = \frac{220}{4,3} = 51,163 \text{ т/год}$	0,3333
Витрати пульпи Q_n , $\text{м}^3/\text{год}$	0,007454, год/ м^3	$\frac{Q_n}{K_{p-e}} = \frac{220,13}{4,3} = 46,54 \text{ м}^3/\text{год}$	0,3469
Витрати води в кульовий млин Q_e , $\text{м}^3/\text{год}$	-0,028015, год/ м^3	$\frac{Q_e}{K_{p-e}} = \frac{86,69}{4,3} = 20,16 \text{ м}^3/\text{год}$	-0,5648
Витрати води в пісковий жолоб Q_{el} , $\text{м}^3/\text{год}$	-0,035469, год/ м^3	$\frac{Q_{el}}{K_{p-e}} = \frac{14,0}{4,3} = 3,26 \text{ м}^3/\text{год}$	-0,1156
Густина руди δ_p , т/ м^3	0,6507, $\text{м}^3/\text{год}$	$\frac{\delta_p}{K_{p-e}} = \frac{3,3}{4,3} = 0,767 \text{ т/м}^3$	0,4991
Відносний вміст вологи у пісках класифікатора K_n	-15,6059,	$\frac{K_n}{K_{p-e}} = \frac{0,12}{4,3} = 0,028$	-0,437

На підставі проведених досліджень створюється можливість подальшого удосконалення методу, а саме – оптимізації ідентифікації співвідношення руда/вода по точності вимірювальних засобів. Це дозволить створювати ефективні системи автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах, що працюють в замкнутах циклах з спіральними механічними класифікаторами, і таким чином підвищити ресурсозбереження і знизити собівартість продукції при переробці руд чорних металів з малим вмістом корисного компонента.

Список літератури

1. Троп А.Е., Козин В.З., Прокофьев Е.В. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1986. – 303 с.
2. Козин В.З., Тихонов О.Е. Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов. – М.: Недра, 1990. – 343 с.
3. Мазур В., Смірнова О., Иванов А. Шляхи розвитку гірничо-металургійного комплексу України //Економіка України, 2000. - № 4. – С. 4 – 9.
4. Скоров В.А. Обогащение руд. – М.: Недра, 1969. – 276 с.
5. Бонч-Бруевич А.М., Быков В.Л., Чинаев П.И. Бесконтактные элементы самонастраивающихся систем. – М.: Машиностроение, 1967. – 292 с.
6. Авторское свидетельство СССР № 977022, Кл. В 02 с 25/00, 1982.
7. Авторское свидетельство СССР № 1688920, Кл. В 02 с 25/00, 1991.
8. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях: Справочное пособие /Под ред. В.С. Виноградова. – М.: Недра, 1984. – 167 с.
9. Авторское свидетельство СССР № 1563757, Кл. В 02 с 25/00, 1990.
10. Авторское свидетельство СССР № 694215, Кл. В 02 с 25/00, 1979.
11. Авторское свидетельство СССР № 1526829, Кл. В 02 с 25/00, 1988.
12. Авторское свидетельство СССР № 1326335, Кл. В 02 с 25/00, 1987.
13. Авторское свидетельство СССР № 1416179, Кл. В 02 с 25/00, 1986.
14. Гончаров Ю.Г., Давидкович А.С., Гейзенблазен Б.Е., Гуленко Г.В. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках. – М.: Недра, 1968. – 227 с.
15. Кондратец В.О., Сербул О.М. Комп'ютерно-інтегрована система управління циклами мокрого подрібнення руд //Академический вестник, 2004. - № 13. – С. 114–116.

В статье приведены результаты исследований алгоритмического метода повышения точности идентификации технологических параметров при управлении шаровыми мельницами. Показано, что возможна идентификация соотношения руда/вода на входе шаровой мельницы по технологическим параметрам её коммуникаций при условии измерения расхода пульпы в песковом желобе с сниженной точностью.

In article are brought results of the studies of the algorithmic method of increasing to accuracy to identifications technological parameter when control ball mill. It Is Shown that possible identification of the correlation ore/water at the input ball mill on technological parameter its communication at condition of the measurement of the consumption of the pulp in sand chute with reduced by accuracy.